

УДК 621.3

Седуш В.Я.¹, Кравченко В.М.², Борисенко В.Ф.³, Сидоров В.А.⁴**РАННЕЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

На основе проведенных исследований выявлена возможность использования эталонов соблюдения физических зависимостей для диагностирования состояния электромеханических систем с учётом всего комплекса диагностических параметров: тока, вибрации, времени, температуры, нагрузки. Для практической реализации результатов исследования необходима разработка экспертной программы раннего диагностирования.

Большая часть машин и механизмов промышленных предприятий относится к электромеханическим системам. Эффективная эксплуатация данного оборудования невозможна без знания их фактического состояния. Связано это с тем, что стратегия проведения ремонтов «после отказа» нецелесообразна, как правило, из-за значительных затрат на ликвидацию последствий отказа и неплановую остановку технологического процесса. Принудительная замена деталей и элементов для обычного промышленного оборудования также не оправдывает значительных затрат, сопровождающих данную стратегию. Главной причиной отказа от этой стратегии является разноресурсность в работе однотипных элементов [1, 2]. Стратегия ремонта оборудования «по состоянию» позволяет минимизировать объёмы ремонта путём своевременного ремонта предупреждать возникновение аварийных ситуаций. Однако использование этой стратегии не способствует равномерной загрузке ремонтного персонала и может приводить к повышению общего времени восстановления технологической системы. Наиболее обоснованным подходом к решению задачи повышения эффективности эксплуатации электромеханического оборудования является, на наш взгляд, своевременное выявление повреждений на ранней стадии их зарождения и предупредительное устранение причин возможных неисправностей в плановые сроки ремонта и технического обслуживания. Для обеспечения раннего выявления зарождающихся отказов электромеханического оборудования необходима рационально организованная система технического диагностирования подобных систем. Традиционный подход к определению технического состояния системы на базе решения задач технической диагностики, предполагает поиск неисправностей как различение состояний в подмножестве неисправных состояний [3]. Для этого строится диагностическая модель, составляется словарь неисправностей, определяются диагностические признаки и границы технических состояний. Поиск неисправностей ведется по выбранным диагностическим признакам в зоне предполагаемых значений [4 – 7]. По мере развития системы диагностики объекта, как правило, увеличивается число диагностических параметров, усложняются диагностические модели, растет количество обрабатываемой информации. Результатом такого подхода является то, что для повышения точности решения диагностических задач требуется увеличение числа диагностических параметров. Возможным решением является формирование взаимодополняющих диагностических пространств, включающих механические и энергетические параметры.

Целью данной работы является попытка разработать принципы формирования системы для ранней оценки технического состояния электромеханических систем на базе минимально возможного числа параметров и обсуждение результатов работы по исследованию диагностических приводов металлургических машин.

В большинстве случаев электрическая и механическая части сложной системы современной машины с одной стороны, оказывают существенное воздействие друг на друга.

¹ДонНТУ, д-р техн. наук, проф.²ПГТУ, д-р техн. наук, проф.³ДонНТУ, канд. техн. наук, проф.⁴ДонНТУ, канд. техн. наук, доц.

С другой стороны, признаки их работоспособного состояния имеют различную физическую природу и внешние проявления. Традиционно работоспособное состояние механической части электромеханической системы характеризуется следующими признаками: низким уровнем вибрации и шума; плавностью работы, отсутствием толчков и ударов при изменении направления вращения; нормативной температурой корпусных узлов (обычно не более 60°C); затянутыми резьбовыми соединениями; отсутствием подтекания масла и трещин корпусных деталей. Работоспособное состояние электрической части характеризуется: параметрами проводимости и изолирующих свойств элементов системы; параметрами электрических величин (ток, напряжение), качеством выполнения задач регулирования привода, отсутствием искрения, определенной температурой узлов. В связи с этим представляется целесообразным разработать отображение характеристики состояния электромеханической системы в совместном диагностическом пространстве её электрических и механических параметров. Решение этой задачи возможно, по нашему мнению, при использовании, в качестве базы для диагностирования, параметров электромеханической системы, предоставляемых существующими системами контроля. Для большинства подобных систем такими параметрами являются: напряжение, подводимое к электродвигателю, частота его вращения, сила тока в цепи якоря электродвигателя.

Рассмотрим как изменяются эти диагностические параметры при переходе от исправного к неисправному состоянию на примере электромеханической системы привода нижнего вала черновой клети обжимного стана (рис. 1). Номинальные параметры привода: мощность – 5400 кВт, частота вращения – 60...100 об/мин, момент двигателя – 87,6 т·м. Маховый момент ротора - 270 т·м². Масса ротора – 99 т. Диаметр вала двигателя – 750 мм. Длина вала двигателя – 7700 мм. Масса муфты – 13 т. Масса промежуточного вала – 21 т. Диаметр промежуточного вала – 750 мм. Длина промежуточного вала – 9800 мм.

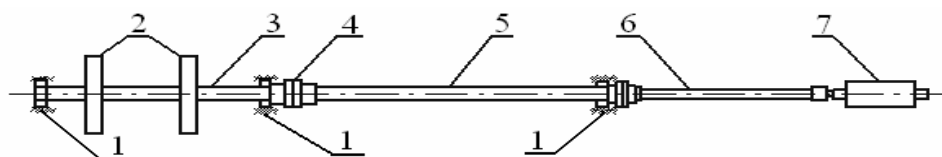


Рис. 1 – Схема привода нижнего рабочего вала:

1 – подшипниковые опоры; 2 – роторы двигателя; 3 – вал двигателя;
4 – муфта; 5 – промежуточный вал; 6 – шпиндель; 7 – рабочий валок

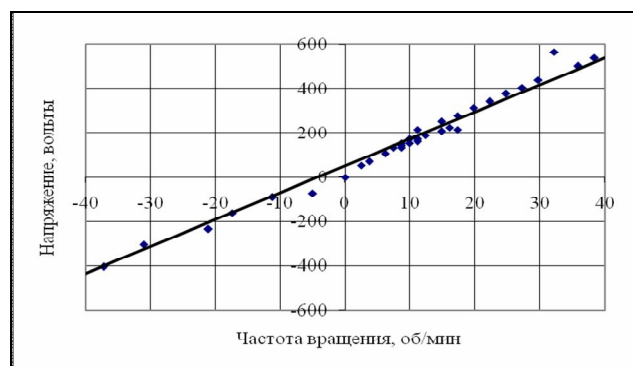
На основе записей данных системы контроля привода, полученных в виде осциллограмм, построено графическое отображение диагностического пространства «напряжение – частота вращения» для исправного привода (рис. 2а) и для случая ослабления крепления подшипниковой опоры (рис. 2б). Для анализа в обоих случаях выбран участок осциллограммы на котором зафиксирована работа исправного электродвигателя с изменением направления вращения – это позволяет привести условия работы привода к однотипному проявлению. Для первого случая (исправный привод) зависимость «напряжение – частота вращения» описывается линейным уравнением $Y = 12,145X + 52,475$; с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,987$.

При возникновении неисправности в системе (ослабление крепления подшипниковой опоры) происходит изменение в диагностическом пространстве «напряжение – частота вращения». Из данных рис. 2 видно, что линейная зависимость между исследуемыми характеристиками изменила параметры – сменился угол наклона прямой, сместились точки пересечения с осями координат. Неисправность приводит к изменению уравнения «напряжение – частота вращения» на $Y = 13,693X + 23,621$; с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9938$.

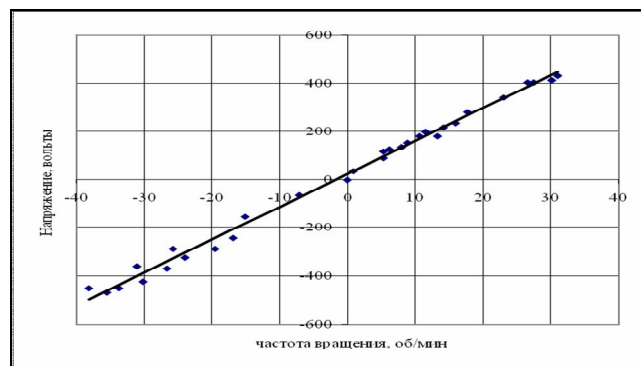
Чётко просматривающееся изменение уравнения при переходе системы из исправного в неисправное состояние позволяет, по нашему мнению, использовать зависимость «напряжение – частота вращения» в принятой системе координат в качестве диагностического признака электромеханической системы. Однако для создания системы диагностирования необходимо на последующих этапах работы собрать данные, позволяющие построить подобные эталоны

соблюдения физических зависимостей для работы системы в аналогичных условиях, но при иных видах отказов образующих её элементов.

Кроме вышеописанной зависимости «напряжение – частота вращения» (рис. 2) были построены для этих же двух случаев работы привода зависимости «ток – напряжение» и «ток – частота вращения», представленные на рис. 3, 4.

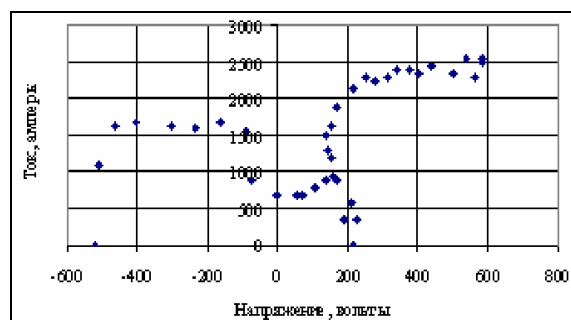


а)

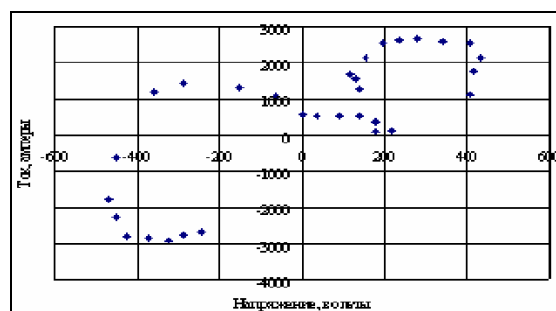


б)

Рис. 2 – Диагностическое пространство «напряжение – частота вращения» исправного (а) и неисправного (б) привода

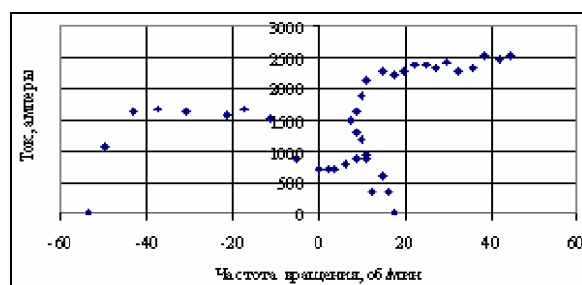


а)

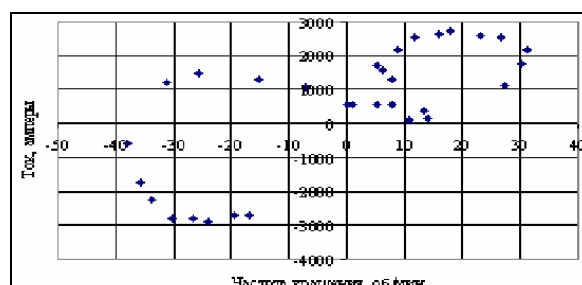


б)

Рис. 3 – Диагностическое пространство «ток – напряжение» исправного (а) и неисправного (б) привода



а)



б)

Рис. 4 – Диагностическое пространство «ток – частота вращения» исправного (а) и неисправного (б) привода

Из рис. 3, 4 следует, что зависимости в диагностических пространствах «ток – напряжение» и «ток – частота вращения» для исправного и неисправного состояния привода существенно сложнее, чем в случае диагностического пространства «напряжение – частота вращения», зависимости для которого показаны на рис. 2. Изменение диагностических пространств при переходе от исправного к неисправному состоянию системы происходит в этом случае со значительным перераспределением их параметров (рис. 3, 4). Отмечено также существенное воздействие на картину этих диагностических пространств величины внешней

нагрузки, воспринимаемой приводом. Получить столь же простые зависимости, как и для пространства «напряжение – частота вращения» для этих пространств пока не удалось. Неоднозначность полученных результатов, значительное влияние технологических режимов не позволяют, на данном этапе, рекомендовать зависимости в диагностических пространствах «ток – напряжение» и «ток – частота вращения» для раннего диагностирования рассматриваемой системы.

Необходимым является разработка четких признаков поведения электромеханической системы, имеющей хорошее, удовлетворительное и плохое техническое состояние. Одним из направлений исследований в ходе выполнения дальнейших этапов данной работы будет изучение поведения системы в режиме разгон – выбег, а также введение в качестве диагностических параметров вибрации и температуры отдельных узлов системы с учётом внешних нагрузок, воспринимаемых приводом.

Выводы

1. Выполненные исследования указывают на возможность использования эталонов соблюдения физических зависимостей (подобных полученной для данной системы пары вариантов диагностического пространства «ток – частота вращения», соответствующих исправному и неисправному, обусловленному ослаблением крепления подшипниковой опоры, состоянию привода) для диагностирования состояния электромеханических систем.
2. При оценке технического состояния электромеханических систем необходимо учитывать весь комплекс диагностических параметров: ток, вибрацию, время, температуры, нагрузка, по возможности опираясь на уже имеющиеся в составе систем управления датчики. При проектировании новых систем следует вводить в их структуру датчики вибрации и нагрузки, не всегда присутствующие в существующих системах управления электромеханическим приводом.
3. Практическая реализация результатов исследования возможна при разработке экспертной программы раннего диагностирования, включающей четкие признаки поведения электромеханической системы, имеющей хорошее, удовлетворительное и плохое техническое состояние.

Перечень ссылок

1. *Гребеник В.М.* Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности): Справочник / *В.М. Гребеник, В.К. Цапко.* – М.: Металлургия, 1989. – 592 с.
2. *Кравченко В.М.* Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования: Учебник / *В.М. Кравченко.* – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2004. – 504 с.
3. Введение в техническую диагностику / *Под ред. К.Б. Карандеева.* – М.: Энергия, 1968. – 224 с.
4. *Якубович Н.А.* Оценка вибросостояния энергомеханического оборудования / *Н.А. Якубович.* – М.: Изд-во РАО «Газпром», 1997. – 240 с.
5. *Баркова Н.А.* Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования / *Н.А. Баркова.* – СПб.: Изд. центр СПбМТУ, 2003. – 248 с.
6. *Гольдин А.С.* Вибрация роторных машин / *А.С. Гольдин.* – М.: Машиностроение, 1999. – 464 с.
7. *Сивокобиленко В.Ф.* Математичне моделювання в електротехніці і енергетиці: Навч. посібник / *В.Ф. Сивокобиленко.* – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2005. – 350 с.

Рецензент: А.А. Ищенко
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 20.02.2009